

## Opowieści z życia gwiazd

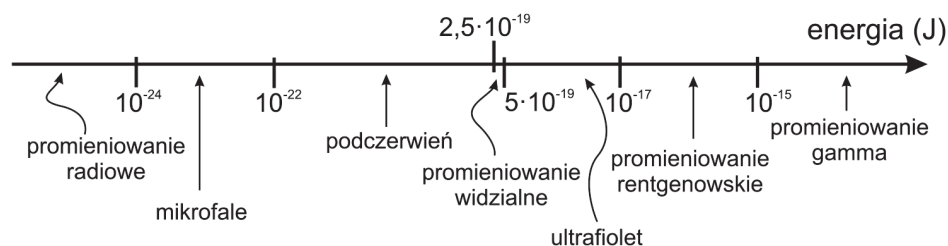
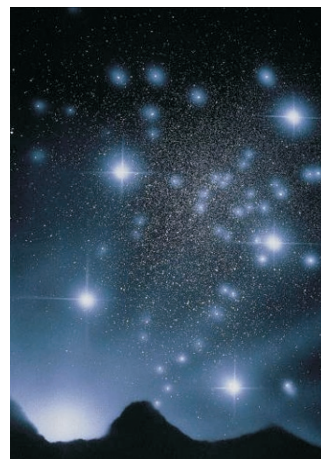
Pomimo tego, że tytułowe „gwiazdy” nie grywają w popularnych serialach, nie zdobywają medali na zawodach sportowych, ani nie mają pięknego głosu, ich życie obfituje w ciekawe zdarzenia, których żadna z „ziemskich gwiazd” nie doświadczy. Gwiazdy, o których będzie mowa, to ogromne, rozgrzane do wysokiej temperatury skupiska atomów różnych pierwiastków, przede wszystkim wodoru i helu. Możecie zapytać: ale skąd biorą się takie skupiska w Kosmosie?

Jak dochodzi do powstania gwiazd i czy żyją one wiecznie? A może znikają pewnego dnia, równie tajemniczo jak się pojawiły? Żeby odpowiedzieć na te i wiele innych pytań, astronomowie od dawna badają życie gwiazd. Do tej pory udało im się ustalić sporo szczegółów dotyczących tego, jak „rodzą się” i „umierają” te obiekty. Spróbujmy więc i my zapoznać się ze scenariuszem życia przeciętnej gwiazdy jednocześnie wyjaśniając, w jaki sposób naukowcy na powierzchni Ziemi badają te obiekty, nie wyruszając w Kosmos.

Wpatrując się w rozgwieżdżone niebo możemy zaobserwować setki gwiazd. Widzimy je, ponieważ wysyłają one światło, czyli widzialne promieniowanie elektromagnetyczne. Ludzie są w stanie zobaczyć tylko wąski zakres widma promieniowania wysyłanego przez gwiazdy. Częstość tego promieniowania odpowiada wszystkim kolorom tęczy. Światło wysyłane przez Słońce odbieramy jako białe (ze względu na mieszanie kolorów). Gwiazdy chłodniejsze są bardziej czerwone, te bielsze – bardziej gorące.

Za pomocą specjalnych przyrządów naukowcy mogą zbadać również inne rodzaje promieniowania elektromagnetycznego wysyłanego przez gwiazdy. Na przykład radioteleskopy służą do badania promieniowania radiowego i mikrofalowego, a specjalne detektory pozwalają badać promieniowanie podczerwone, nadfioletowe, rentgenowskie i promieniowanie gamma. Każdemu rodzajowi promieniowania odpowiada pewien charakterystyczny zakres energii (rys. 1).

Na przykład energia porcji (kwantu) promieniowania radiowego jest mniejsza od energii kwantu promieniowania mikrofalowego, a ta z kolei jest mniejsza od energii kwan-



**Rys. 1.** Widmo promieniowania elektromagnetycznego. Różne rodzaje promieniowania uszeregowane zgodnie ze wzrostem energii

tu promieniowania widzialnego. Promieniowanie o najwyższej energii to promieniowanie gamma. Różne typy promieniowania odpowiadają różnym procesom zachodzącym w gwiazdach więc badanie całego zakresu promieniowania pozwala zebrać informacje, na podstawie których możemy dowiedzieć się więcej o budowie i ewolucji gwiazd.

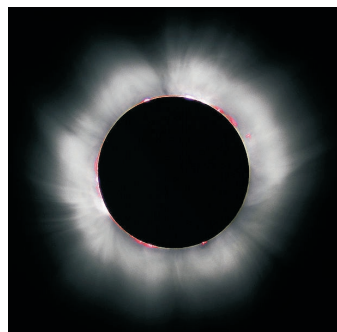
### Narodziny gwiazdy

Odległości między poszczególnymi gwiazdami we Wszechświecie są olbrzymie, a przestrzeń pomiędzy nimi wypełniona jest bardzo rzadkim gazem atomów, jonów i cząsteczek (właściwie próżnia). Średnio, na jeden centymetr sześcienny przypada zaledwie jeden atom albo cząsteczka (dla porównania, w jednym centymetrze sześciennym powietrza znajduje się około  $10^{19}$  czyli 10 000 000 000 000 000 000 cząsteczek!). W przestrzeni kosmicznej znajdują się jednak obszary, w których cząsteczki tworzą skupiska o większej gęstości. Gwiazdy rodzą się właśnie w takich gęstych i chłodnych *obłokach gazu i pyłu kosmicznego*. Jeśli w jakimś miejscu obłoku utworzy się lokalne zagęszczenie cząsteczek, to znajdujące się w jego pobliżu atomy i cząsteczki zostaną przyciągnięte do tego skupiska. Dzieje się tak pod wpływem siły grawitacji, czyli tej samej siły, która powoduje, że podrzucona w górę piłka spada na powierzchnię Ziemi. Im więcej cząsteczek w skupisku, z tym większą siłą przyciąga ono inne cząsteczki znajdujące się w sąsiedztwie. W ten sposób skupisko stopniowo powiększa się. Energia spadających ku środkowi skupiska cząsteczek jest zamieniana na ciepło, dlatego temperatura obłoku gazu i pyłu stopniowo rośnie. Wszystkie rozgrzane substancje wysyłają promieniowanie elektromagnetyczne. Początkowo, gdy temperatura skupiska jest niska, emituje ono przede wszystkim promieniowanie mikrofalowe, o niskiej energii<sup>1</sup>. W miarę wzrostu temperatury obłok zaczyna również wysyłać promieniowanie podczerwone. Gdy temperatura przekroczy pewną krytyczną wartość (około 3 000 000 kelwinów) możliwe staje się wystąpienie nowego zjawiska: jądra atomów wodoru (który jest pierwiastkiem najczęściej występującym w gwiazdach) mogą połączyć się, dając w wyniku jądro atomu helu. Zjawisko to nosi nazwę *syntezy* lub *fuzji jądrowej*. Podczas tego procesu wytwarzana jest bardzo duża ilość promieniowania, w tym również promieniowanie widzialne. Obłok rozgrzanego gazu zaczyna wówczas intensywnie świecić – mówimy, że narodziła się nowa gwiazda.

### Dorastanie gwiazdy

Nowo powstała gwiazda ma budowę warstwową, podobnie jak cebula. Reakcja fuzji jądrowej zachodzi w samym wnętrzu gwiazdy. Tam też jest najgoręcej. W miarę oddalania się od środka temperatura maleje i osiąga najniższą wartość przy powierzchni gwiazdy, w tzw. *fotosferze*, czyli najniższej warstwie atmosfery gwiazdy. Powyżej znajduje się jeszcze korona – obszar bardzo gorącego, ale mocno rozrzedzonego gazu (to właśnie tę warstwę widać podczas całkowitego zaćmienia Słońca).

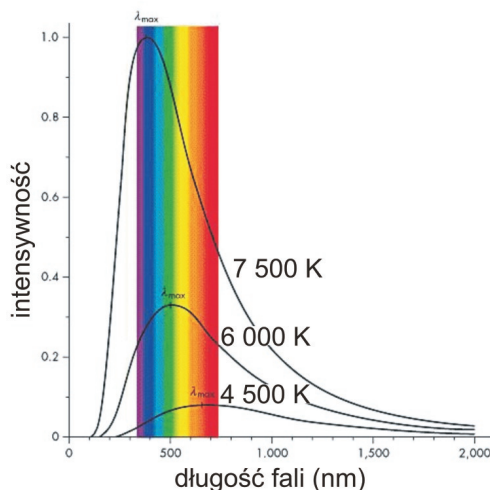
Większość docierającego do naszych oczu światła widzialnego pochodzi z fotosfery. W zależności od temperatury powierzchni gwiazdy, docierające do nas promieniowanie może zawierać różne proporcje poszczególnych kolorów. Gwiazdy o niskiej temperaturze wysyłają dużo więcej promieniowania czerwonego niż



Korona słoneczna widziana podczas całkowitego zaćmienia Słońca w 1999 roku (Wikipedia)

<sup>1</sup> Przypominamy (patrz *Neutrino 7*), że energia kwantu promieniowania wiąże się z częstotliwością  $E = h\nu$  (gdzie  $h$  – stała Plancka,  $\nu$  – częstotliwość), a częstota z długością fali  $\nu = c/\lambda$ , gdzie  $c$  – prędkość światła w próżni.

niebieskiego i dlatego widzimy je jako czerwone. Natomiast bardzo gorące gwiazdy wysyłają dużo więcej promieniowania niebieskiego, co nadaje im niebieskawe zabarwienie. Gwiazdy o pośredniej temperaturze wysyłają najwięcej światła o kolorze pomarańczowym, żółtym i zielonym, co nasze oczy postrzegają jako kolor żółty.

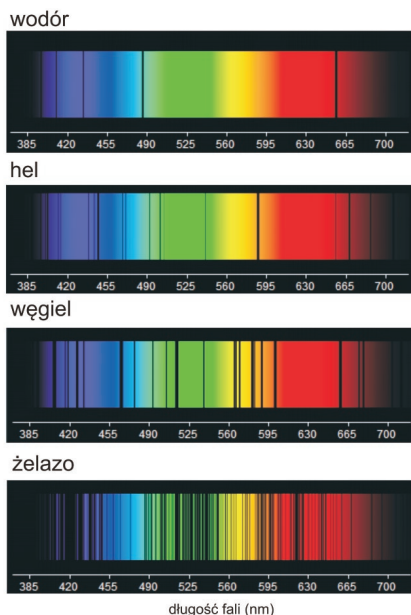


**Rys. 2.** Widma promieniowania różnych typów gwiazd

Rysunek 2 przedstawia trzy krzywe obrazujące udział poszczególnych barw występujących w promieniowaniu gwiazd o różnej temperaturze powierzchni. Najniższa krzywa odpowiada promieniowaniu gwiazdy o temperaturze równej 4500 K. Promieniowanie tej gwiazdy zawiera najwięcej koloru czerwonego i pomarańczowego. W przypadku gwiazdy o temperaturze powierzchni równej 6000 K (krzywa środkowa) proporcje kolorów są inne – tutaj najwięcej jest koloru żółtego i zielonego. Trzecia krzywa przedstawia promieniowanie najgorętszej gwiazdy (temperatura powierzchni równa 7500 K), w którym dominuje barwa niebieska i fioletowa. Badając skład promieniowania docierającego do nas z gwiazdy można więc określić temperaturę jej powierzchni.

Ale to nie wszystko. Obecność atomów różnych pierwiastków i cząsteczek znajdujących się w fotosferze powoduje, że promieniowanie o pewnych energiach zostaje pochłonięte w tej warstwie. To tak, jakby oglądać światło lampy przez kolorowy filtr. Pewne kolory zostają usunięte i do oka dociera tylko ta część światła, która nie została pochłonięta przez filtr. Atomy i cząsteczki to takie bardzo precyzyjne „filtry”. Każdy atom lub cząsteczka „wycina” promieniowanie o pewnych konkretnych energiach. Zbiór energii charakterystycznych dla danego atomu lub cząsteczki stanowi jego „osobisty” podpis lub „odcisk palców”. Na rysunku 3 przedstawiono przykłady takich „podpisów” dla atomów wodoru, helu, węgla oraz żelaza.

Na tle zakresu promieniowania widzialnego widać czarne prążki odpowiadające promieniowaniu pochłoniętemu przez konkretny pierwiastek. Dzięki temu, sprawdzając, których energii promieniowania brakuje w docierającym do nas promieniowaniu, można zidentyfikować obecne w fotosferze gwiazdy atomy i cząsteczki. Badanie promieniowania gwiazd pozwala więc określić ich skład chemiczny.



**Rys. 3.** Widma absorpcyjne, czyli „osobiste podpisy” kilku pierwiastków

### Koniec i nowy początek

Podczas całego swojego życia gwiazda balansuje na granicy równowagi. Z jednej strony tworzące ją atomy przyciągane są stale w kierunku środka gwiazdy. Z drugiej jednak strony wydostające się z jej wnętrza promieniowanie „rozdmuchuje” atomy i cząsteczki, spychając je ku zewnętrznym warstwom gwiazdy. Jeśli żadna z tych tendencji nie dominuje, to gwiazda jest w stanie równowagi. Jej wielkość nie zmienia się – gwiazda ani się nie zapada ani nie rośnie. Jednak przebiegająca wewnątrz gwiazdy reakcja łączenia się jąder atomów (reakcja fuzji) nie może trwać wiecznie. Kiedy cały obecny we wnętrzu gwiazdy wodór zostaje zamieniony na hel, gwiazdzie zaczyna brakować „paliwa” i zaczyna ona świecić mniej intensywnie. Zmniejszenie ilości wysyłanego promieniowania wytrąca gwiazdę z równowagi i tworzące ją cząsteczki zostają przyciągnięte ku jej środkowi – gwiazda robi się coraz mniejsza, a jej gęstość zwiększa się, jednocześnie temperatura w jej wnętrzu rośnie. Jeśli gwiazda jest wystarczająco masywna, to temperatura może wzrosnąć tak bardzo, że w jej wnętrzu może rozpocząć się kolejna reakcja syntezy – tym razem to jądra atomów helu połączą się razem, by utworzyć jądro atomu węgla. Ponieważ reakcja ta powoduje na nowo emisję dużej ilości promieniowania, rozmiary gwiazdy ponownie wzrosną. W zależności od początkowej masy gwiazdy może dochodzić do kilku takich cykli „wygasania” i ponownego „zapalania” się gwiazdy. Ostatecznie gwiazda albo wygasa całkowicie, albo wybucha gwałtownie, wysyłając przy tym w przestrzeń kosmiczną olbrzymią ilość promieniowania o bardzo dużej energii (promieniowanie rentgenowskie i gamma). Taka kosmiczna eksplozja zwana „supernową” jest bardzo widowiskowa. Supernowe były już niejednokrotnie obserwowane przez astronomów. Pozostałe po wygaśnięciu lub wybuchu gwiazdy cząsteczki i atomy tworzą materiał mogący kiedyś wejść w skład nowej gwiazdy. W ten sposób kończy się cykl życia gwiazdy.